

Dispersión del campo magnético terrestre obtenida a partir de remanencias primarias en lavas

V.C. Ruiz-Martínez¹ y M.L. Osete²

¹ Dpto. de Geofísica, Facultad de C.C. Físicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 -Madrid. vcarlos@fis.ucm.es.; mlosete@fis.ucm.es(2)

² Dpto. de Geofísica, Universidad Complutense de Madrid, mlosete@fis.ucm.es

ABSTRACT

A total of 120 sites with geochronological control have been sampled in the Transmexican Volcanic Belt (TMVB). They span the spatial and temporal activity of this volcanic arc. The mean paleomagnetic directions, obtained from volcanic rocks in the age range 10-5 Ma and 5-0 Ma, do not differ from their respective reference directions. In both data sets, virtual geomagnetic poles (VGPs) have been selected using Fisher's precision parameters and optimum cutoff angles (Vandamme, 1994). This results in a circularly symmetrical data distribution with normal and reverse modes that are indistinguishable from antipodal. VGP dispersions are consistent with those from globally distributed observations analysed by McFadden et al. (1991) and McElhinny & McFadden (1997) for the Miocene and the Plio-Quaternary, respectively. Abnormally low scatters of VGPs have been reported in previous studies of Miocene and Quaternary lavas of the TMVB. An analysis of all the published paleomagnetic data from this arc, when selected in terms of the same quality criteria, do not either support the persistence of a magnetic anomaly in the studied region, in agreement with the present study.

Key words: paleomagnetism, geomagnetic dispersion, paleosecular variation of lavas, Transmexican Volcanic Belt.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la variación del campo geomagnético con el tiempo geológico ayuda a entender cómo funciona la geodinamo. Los estudios paleomagnéticos de la dispersión estadística de largo periodo de la dirección del campo geomagnético realizados a partir de lavas se denominan "variación paleosecular de lavas" (PSVL). Estos estudios son numerosos para datos paleomagnéticos provenientes de lavas de edades inferiores a 5 Ma globalmente distribuidas en la superficie terrestre, e incrementan sucesivamente el número de datos disponibles utilizando diferentes criterios de selección de los polos geomagnéticos virtuales (VGPs), p.ej., McElhinny & y McFadden (1997); ya que cumplen los requisitos estadísticos de constituir una serie de observaciones puntuales y aleatorias del campo para un periodo de tiempo suficientemente amplio para promediar su dispersión, pero corto geológicamente para que no sean necesarias correcciones para reconstruir las posiciones relativas de los continentes. En cambio, para edades superiores a 5 Ma, los estudios son más escasos y por tanto basados en ventanas temporales geológicas más amplias (p.ej., Mc Fadden et al., 1991).

Los escasos estudios sobre la PSVL realizados en el Cinturón Volcánico Transmexicano (TMVB) se centran, para los últimos 5 Ma, en el cron de polaridad normal Brunhes, de

edad inferior a 780.000 años, y en dos secuencias de flujos Miocenos miocenos (~8-9 Ma). Se han encontrado valores de la desviación angular estándar (ASD ó S_F) del campo geomagnético excesivamente pequeños, p.ej. Urrutia-Fucuguchi (1997), Goguitchaichvili et al. (2002), en comparación con las observaciones globalmente distribuidas a la misma latitud ($S_F \approx 12.1-13.3$ para 5-0 Ma, y $S_F \approx 17.0-19.7$ para 22.5-5.0 Ma). Los autores atribuyen esta discrepancia bien a la ausencia del campo no dipolar como algunos autores sostienen en la región del Pacífico, p.ej., Elmaleh et al. (2001), o bien a que la tasa de las erupciones fuera elevada y no se haya promediado adecuadamente la PSVL.

En este estudio se analiza la dispersión geomagnética en los últimos 10 Ma a partir de 120 sitios muestreados en el TMVB y se reanalizan 216 sitios de entre los datos paleomagnéticos previamente publicados en el TMVB (recalcando en dos secuencias de flujos las direcciones medias en intervalos de la misma polaridad), habiéndose descartado las direcciones provenientes de 266 sitios sin control de edad, o con muestras parcialmente desimanas, o con parámetros estadísticos de Fisher de $N < 5$, $k \leq 20$ ó $\alpha_{95} \geq 10^\circ$.

METODOLOGÍA

En el tratamiento de laboratorio, la Magnetización Natural Remanente (NRM (Magnetización Natural Remanente)

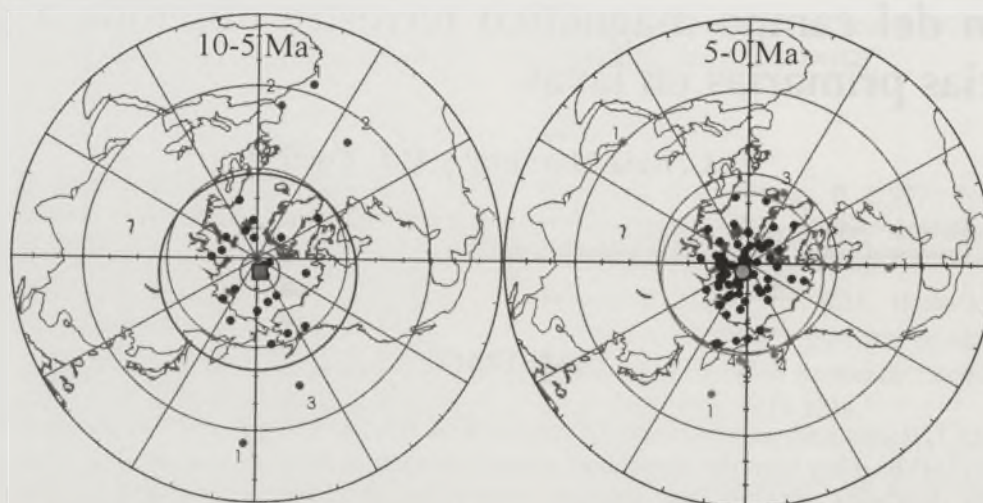


FIGURA 1. Proyección de igual área de los 120 VGPs analizados en este estudio (izquierda: 10-5 Ma; derecha: 5-0 Ma) con las direcciones rechazadas (se indica el número de la iteración) y seleccionadas (dentro de la circunferencia centrada en la dirección media y de radio el ángulo de corte óptimo) por el método iterativo de Vandamme (1994).

de las muestras se desimanó tanto térmicamente como por campos alternos decrecientes. Las componentes características de las muestras se han determinado incluyendo al menos cinco puntos de la desimanación progresiva, y han sido calculadas mayoritariamente por análisis de la componente principal, y sólo en algunas estructuras parcialmente reimanadas (fundamentalmente por caída de rayos o alteración hidrotermal) con el análisis de círculos máximos, combinando a veces con direcciones lineales. Atendiendo a los criterios de calidad anteriormente mencionados, 12 de los 120 sitios muestreados se han rechazado para este análisis al no poderse obtener su dirección característica con un parámetro de precisión de $k > 20$.

La metodología iterativa empleada, para cada subgrupo de VGPs estudiado, ha sido:

1. No excluir *a priori* ningún sitio en función de la latitud de su VGP para no "ignorar" la posible existencia de efectos tectónicos que afectaran a la distribución global de VGPs.
2. Calcular la dirección media de la selección de VGPs.
3. Calcular si la distribución se ajusta a una distribución de Fisher.
4. Calcular la dispersión entre sitios, S_T , a partir de las distancias angulares Δ_i de cada uno de los N VGPs con respecto a la media de sus direcciones (o al eje de rotación en su caso): $S_T^2 = \sum \Delta_i^2 / (N-1)$.
5. Calcular la corrección producida por la dispersión de los correspondientes VGPs "dentro de cada sitio" (S_W). El cálculo de esta corrección se ha realizado a partir de la variación de la dispersión "dentro de cada sitio" de las direcciones (declinación e inclinación) de magnetización s_W (que, a su vez, depende del número medio de muestras por sitio, \bar{n} , y del α_{95} medio de los sitios) en función de la latitud, Cox (1970): $S_W^2 / s_W^2 = 2(1 + 3 \sin^2 \lambda)^2 / (5 + 3 \sin^2 \lambda)$.

6. Calcular la desviación angular estándar corregida, $S_F : S_F^2 = S_T^2 - S_W^2 / \bar{n}$.
7. Calcular el ángulo de corte óptimo (distancia máxima a la media o al eje de rotación), variable para cada distribución de VGPs, determinado por Vandamme (1994), con respecto a la dispersión S_F : $\Theta = 1,8 S_F + 5^\circ$.
8. Utilizar este ángulo de corte para desechar aquellos VGPs cuya distancia angular a la media sea superior al ángulo de corte Θ .
9. Repetir el proceso desde el paso (ii) hasta la convergencia del método (cuando todas las distancias angulares de los VGPs son inferiores al ángulo de corte).
10. Calcular finalmente los límites de confianza al 95% de la desviación angular estándar (S_F): el límite inferior (S_L) y el límite superior (S_U), Cox (1969).

RESULTADOS

En todas las agrupaciones de VGPs (de ambas polaridades) analizadas en función de su edad (10-5 y 5-0 Ma) y procedencia (de este estudio o de la recopilación selectiva de estudios paleomagnéticos previos), la convergencia del método iterativo selecciona distribuciones fisherianas y con direcciones medias indistinguibles de las esperadas para su edad según el dipolo geocéntrico axial o la curva polar de deriva aparente para Norte América de Besse y Courtillot (2002). Las poblaciones de VGPs de polaridades normal e invertida resultantes son antipodales, con tests de inversión positivos. Se observa además que la dispersión geomagnética de las poblaciones de VGPs de polaridad invertida es siempre mayor que las de polaridad normal.

Tanto la dirección media como la dispersión geomagnética de las poblaciones de VGPs de los sitios con edad inferior a 5 Ma, resultantes de aplicar el método iterativo con

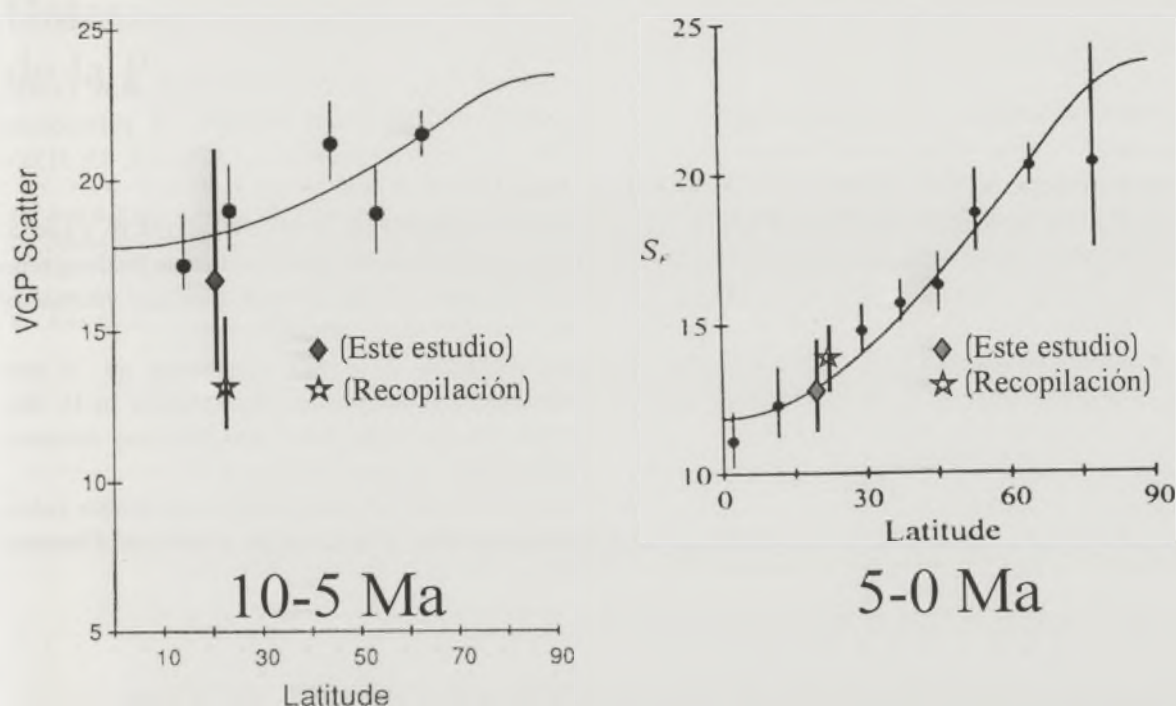


FIGURA 2. Dispersiones geomagnéticas obtenidas a partir de lavas del TMVB (120 sitios de este estudio y 216 recopilados selectivamente de la literatura), con sus límites superior e inferior de confianza al 95% (Cox, 1969), comparadas con las obtenidas a partir de observaciones globalmente distribuidas analizadas por McFadden *et al.* (1991) y McElhinny y McFadden (1997) para el Mioceno y el Plio-Cuaternario, respectivamente.

respecto a la media o al eje de rotación, son estadísticamente indistinguibles entre sí al 95% de confianza.

En la figura 1 se muestra el estudio de la PSVL realizado en los sitios muestreados y seleccionados en este estudio (27 entre 10-5 Ma y 79 entre 5-0 Ma) para las poblaciones normales e invertidas juntas.

El mismo procedimiento se ha realizado para los sitios seleccionados de la literatura paleomagnética en el TMVB (50 entre 10-5 Ma y 166 entre 5-0 Ma). La ASD producida por los distintos ángulos de corte óptimos resultantes obtenidos en cada agrupación de VGPs se muestran, con sus límites superior e inferior al 95% de confianza, en la figura 2, comparadas con las obtenidas a partir de las observaciones globalmente distribuidas y ajustadas según el modelo G de la PSVL de McFadden *et al.* (1988).

CONCLUSIONES

La dispersión geomagnética en los últimos 10 Ma, obtenida a partir del conjunto de poblaciones de VGPs de polaridades normales e invertidas del vulcanismo del cinturón volcánico Trans-Mexicano muestreado en este estudio (en el Mioceno Superior y en los últimos 5 Ma), es indistinguible, en cada una de las épocas y dentro de las incertidumbres estadísticas al 95% de confianza, de la desviación angular estándar de las observaciones globalmente distribuidas para la latitud de México, ajustadas por el modelo G para la

PSVL. Aplicando la misma metodología y criterios de calidad al conjunto de los datos obtenidos de la recopilación selectiva de los estudios previos realizados en México, se llega a las mismas conclusiones en los últimos 5 Ma, aunque no así en el Mioceno, donde los valores ligeramente menores de la dispersión, sin ser anómalamente bajos, probablemente estén relacionados con un promedio insuficiente de la variación secular. Por tanto, no se observa en la región de México la controvertida persistencia de una región anómala desde el punto de vista geomagnético (la "ventana para el campo dipolar") sostenida por algunos autores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades aportadas por el Instituto de Geofísica de la UNAM (México D.F.) para la realización de la campaña de muestreo de este trabajo. También al proyecto de la Unión Europea "Archeomagnetic applications for the rescue of cultural heritage (AARCH)", HPRN-CT-2002-00219.

REFERENCIAS

- Besse, J. and y Courtillot, V. (2002): Apparent and true polar wander and the Geometry of the magnetic Field in the last 200 Million Years. *Journal of Geophysical Research*, 107: no.b11, 2300, doi:10.1029/2000jb000050.

- Cox, A. (1969): Confidence limits for the precision parameter k . *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 18: 545-549.
- Cox, A. (1970): Latitude dependence of the angular dispersion of the geomagnetic field. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 20: 253-269.
- Elmaleh, A., Valet, J-P. y Herrero-Bervera, E. (2001): A map of the Pacific geomagnetic anomaly during the Brunhes chron. *Earth and Planetary Science Letters*, 193: 315-332.
- Goguitchaichvili, A., Rosas-Elguera, J., Urrutia-Fucugauchi, J., Cervantes, M.A. y Caballero, C. (2002): Magnetic mineralogy, Paleomagnetism, and Magnetostratigraphy of Nayarit Volcanic Formations (Wester Mexico): A pilot study. *International Geology Review*, 44: 1-13.
- McElhinny, M.W., y McFadden, P.L. (1997): Palaeosecular variation over the past 5 Myr based on a new generalized database. *Geophysical Journal International*, 131: 240-252.
- McFadden, P.L., Merrill, R.T. y McElhinny, M.W. (1988): Dipole-Cuadrapole family modelling of paleosecular variation. *Journal of Geophysical Research*, 93: 11583-11588.
- McFadden, P.L., Merrill, R.T., McElhinny, M.W. y Lee, S. (1991): Reversals of the Earth's magnetic field and temporal variations of the dynamo families. *Journal of Geophysical Research*, 96: 3923-3933.
- Urrutia-Fucugauchi, J. (1997): Comments on 'A new method to determine paleosecular variation' by D. Vandamme. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 102: 295-300.
- Vandamme, D. (1994): A new method to determine paleosecular variation. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 85: 131-142.